



10/085,204

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-051256

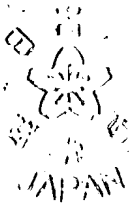
[ST.10/C]:

[JP2001-051256]

出 願 人

Applicant(s):

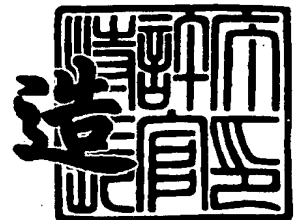
株式会社リコー



2002年 5月14日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3035035

【書類名】 特許願

【整理番号】 0100948

【提出日】 平成13年 2月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/42

【発明の名称】 光通信システム

【請求項の数】 3

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
株式会社リコー内

【氏名】 曳地 秀一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
株式会社リコー内

【氏名】 古田 輝幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
株式会社リコー内

【氏名】 金井 健

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
株式会社リコー内

【氏名】 加藤 正良

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
株式会社リコー内

【氏名】 宮垣 一也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 桜井 彰

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 和多田 篤行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 新治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 菅原 悟

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 鈴木 幸栄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 関谷 卓朗

【特許出願人】

【識別番号】 000006747

【氏名又は名称】 株式会社リコー

【代表者】 桜井 正光

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003724

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記通信システムに使用される光伝送路は、コアとクラッドからなる光ファイバーであり、該コアの径をD、光ファイバーの長さをLとしたとき、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ としたことを特徴とする光通信システム。

【請求項2】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたもので

あり前記通信システムに使用される光伝送路は、コアとクラッドからなる光ファイバーであり、該コアの径を $D$ 、光ファイバーの長さを $L$ としたとき、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ としたことを特徴とする光通信システム。

【請求項3】 前記光伝送路は中継装置を介して信号レベルを増幅して次の光伝送路に再送出して送信を行うことを特徴とする請求項1、2に記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光通信などに用いられる半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、中でも半導体レーザとして製作に使用する半導体基板面に対して垂直方向に光を発するいわゆる面発光レーザを用い複数のレーザ素子を形成して、大容量の通信を可能にした光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

面発光半導体レーザは、基板の表面から垂直方向にレーザ光を放射するので2次元並列集積が可能であり、更に、その出力光の広がり角が比較的狭い（10度前後）ので光ファイバとの結合が容易であるほか、素子の検査が容易であるという特徴を有している。そのため、特に、並列伝送型の光送信モジュール（光インタコネクション装置）を構成するのに適した素子として開発が盛んに行なわれている。光インタコネクション装置の当面の応用対象は、コンピュータ等の筐体間やボード間の並列接続のほか、短距離の光ファイバー通信であるが、将来の期待される応用として大規模なコンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系がある。

【0003】

一般に、面発光半導体レーザは、GaAs 又はGaInAs からなる活性層と、当該活性層を上下に挟んで配置された上部の半導体分布ブラッグ反射鏡と基板側の下部の半導体分布ブラッグ反射鏡からなる光共振器をもって構成するのが普通であるが、端面発光型半導体レーザの場合に比較して光共振器の長さが著しく短

いため、反射鏡の反射率を極めて高い値(99%以上)に設定することによってレーザ発振を起こし易くする必要がある。このため、通常は、AlAs からなる低屈折率材料とGaAs からなる高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡が使用されている。

## 【0004】

ところで上記のように、光通信に使用されるようなレーザ波長が1.1  $\mu\text{m}$ 以上の長波長帯レーザ、例えばレーザ波長が1.3  $\mu\text{m}$ 帯や1.55  $\mu\text{m}$ 帯であるような長波長帯レーザは、製作基板にInPが用いられ、活性層にInGaAsPが用いられるが、基板のInPの格子定数が大きく、これに整合する反射鏡材料では屈折率差が大きく取れず、従って積層数を40対以上とする必要がある。またInP基板上に形成される半導体レーザには、別の問題として、温度によって特性が大きく変化する点がある。そのため、温度を一定にする装置を付加して使用する必要があり、民生用等一般用に供することが困難であり、このような積層数と温度特性の問題から、実用的な長波長帯面発光半導体は、未だ実用化されるに至っていない。

## 【0005】

このような問題を解決するためになされた発明として、特開平9-237942号公報に開示されたものが知られている。それによると、製作基板としてGaAs 基板を用い、基板側の下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからなる半導体層を用い、さらに、下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の高屈折率層にGaInNAs からなる半導体層を用い、従来よりも大きい屈折率差を得るようにし、少ない積層数で高反射率の半導体分布ブラッグ反射鏡を実現しようというものである。

## 【0006】

また、GaInNAs を活性層の材料として使用している。これは、N組成を増加させることによってバンドギャップ(禁制帯幅)を1.4 eVから0 eVへ向かって低下させることができるので、0.85  $\mu\text{m}$ よりも長い波長を発光する材料として用いることが可能となるからである。しかもGaAs 基板と格子整合が

可能なので、GaInNAs からなる半導体層は、 $1.3\mu\text{m}$  帯及び  $1.55\mu\text{m}$  帯の長波長帯面発光半導体レーザのための材料として好ましい点についても言及している。

## 【0007】

しかしながら、従来は  $0.85\mu\text{m}$  よりも長い波長帯の面発光半導体レーザ実現の可能性を示唆するにとどまっているだけであり、実際にはそのようなものは実現していない。これは基本的な構成は理論的にはほぼ決まってはいるものの実際に安定したレーザ発光が得られるようにするためのより具体的な構成がまだ不明だからである。

## 【0008】

一例を挙げると、上記のように AlAs からなる低屈折率材料と GaAs からなる高屈折率材料を  $1/4$  波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡を使用したものや、あるいは特開平 9-237942 号公報に開示されたもののよう、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れる AlInP からなる半導体層を用いたものにおいては、レーザ素子が全く発光しなかったり、あるいは、発光してもその発光効率が低く、実用レベルには程遠いものであった。これは、Al を含んだ材料が化学的に非常に活性であり、Al に起因する結晶欠陥が生じ易いためである。これを解決するためには、特開平 8-340146 号公報や特開平 7-307525 号公報に開示された発明のように Al を含まない GaInNP と GaAs とから半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する提案がある。しかしながら GaInNP と GaAs との屈折率差は AlAs と GaAs との屈折率差に比べて約半分であり、反射鏡の積層数を非常に多くなり製作が困難となる。

## 【0009】

すなわち現状では、コンピュータ・ネットワークなどで光ファイバー通信が期待されているが、それに使用できるレーザ波長が  $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在せず、その出現が切望されている。

## 【0010】



## 【発明が解決しようとする課題】

本発明はこのような光通信などに用いられるレーザ発振波長が  $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、その第1の目的は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源として利用した低コストで大容量の光送信を可能とする光通信システムを提案することにある。

また第2の目的は、安定して使用できるレーザ発振波長が  $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、実用的な長波長帯面発光半導体レーザとこれを用いた安定な光送信を可能とする光通信システムを提案することにある。

さらに第3の目的は、このような光通信システムにおいて、高精度の光送信を提案することにある。

## 【0011】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は前記目的を達成するために第1に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が  $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$  であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料層は  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記通信システムに使用される光伝送路は、コアとクラッドからなる光ファイバーであり、該コアの径をD、光ファイバーの長さをLとしたとき、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$  とするようにした。

## 【0012】

また第2に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記通信システムに使用される光伝送路は、コアとクラッドからなる光ファイバーであり、該コアの径をD、光ファイバーの長さをLとしたとき、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ とするようにした。

## 【0013】

さらに第3に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記光伝送路は中継装置を介して信号レベルを増幅して次の光伝送路に再送出して送信を行うようにした。

## 【0014】

## 【発明の実施の形態】

最初に本発明の光通信システムに適用される発光素子である伝送ロスが少ないレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザの1例について図1を用いて説明する。

前述のように、従来は本発明が適用しようとしているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザに関しては、その可能性の示唆があるのみで、実現のための材料、ならびにより具体的、詳細な構成は不明であった。本発明では、活性層としてGaInNAs等の材料を使用し、さらに具体的な構成を明確にした。以下にそれを詳述する。

## 【0015】

本発明では、面方位(100)のn-GaAs基板の上に、それぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さ( $\lambda/4$ の厚さ)で $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=1.0$ ) (低屈折率層～屈折率小の層)と $n\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0$ ) (高屈折率層～屈折率大の層)を交互に35周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡(AlAs/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層を積層した。この例では $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

## 【0016】

そしてその上にアンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(20nm)からなる多重量子井戸活性層と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長 $\lambda$ の1波長分の厚さ( $\lambda$ の厚さ)の共振器を形成している。

## 【0017】

さらにその上に、C(炭素)ドーパの $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層とZnドーパ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ )をそれぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造(1周期)を積層し、その上にCドーパの $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.9$ )とZnドーパ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ )をそれぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造(25周期)とからなる半導体分布ブラッグ反射鏡( $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 上部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成している。この例では $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層も上部反射鏡の一部であり、低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

## 【0018】

なおここで、上部/下部反射鏡ともそれぞれ低屈折率層(屈折率小の層)/高屈折率層(屈折率大の層)を交互に積層して形成するが、本発明ではこれらの間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq$

1) を設けている。図2は、低屈折率層（屈折率小の層）と高屈折率層（屈折率大の層）の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けた半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を示したものである（図1では図が複雑になるので図示することを省略している）。

## 【0019】

従来レーザ波長が  $0.85 \mu\text{m}$  帯の半導体レーザに関して、このような材料層を設けることも検討はされているが、まだ検討段階であり、その材料、あるいはその厚さなどまで詳細には検討されていない。また本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザに関しては全く検討されていない。その理由はこの分野（レーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザ）が新しい分野であり、まだほとんど研究が進んでいないからである。

本発明者はいち早くこの分野（レーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた光通信）の有用性に気付き、それを実現するために鋭意検討を行った。

## 【0020】

このような材料層は形成時にガス流量をコントロールするなどして、そのAl組成を連続的もしくは段階的に変えるようにしてその材料層の屈折率が連続的もしくは段階的に変化するようにして形成する。

## 【0021】

より具体的には、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) 層の  $z$  の値を0から1.0まで変わるように、つまり  $\text{GaAs} \sim \text{AlGaAs} \sim \text{AlAs}$  という具合にAlとGaの比率が徐々に変わるようにして形成する。これは前述のように層形成時にガス流量をコントロールすることによって作成される。また、AlとGaの比率が前述のように連続的に変わるようにして形成しても良いし、段階的にその比率が変わるようにしても同等の効果がある。

## 【0022】

このような材料層を設ける理由は、半導体分布ブラッグ反射鏡の持つ問題点の一つであるp-半導体分布ブラッグ反射鏡の電気抵抗が高いという課題を解決す

るためである。これは半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する2種類の半導体層の界面に生じるヘテロ障壁が原因であるが、本発明のように低屈折率層と高屈折率層の界面に一方の組成から他方の組成へ次第にA1組成が変化するようにして、屈折率も変化させることによってヘテロ障壁の発生を抑制することが可能である。

## 【0023】

またこのような屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) は本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合、 $5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$  の厚さとするのが良く、これより薄いと抵抗が大となり電流が流れにくく、素子が発熱したり、駆動エネルギーが高くなるという不具合がある。また厚いと抵抗が小となり、素子の発熱や、駆動エネルギーの面で有利になるが、今度は反射率がとれないという不具合があり、前述のように最適の範囲 ( $5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$  の厚さ) を選ぶ必要がある。

## 【0024】

なお、前述のように従来のレーザ波長が  $0.85 \mu\text{m}$  帯の半導体レーザに関してこのような材料層を設けることも検討されているが、本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合は、より効果的である。なぜなら、例えば同等の反射率 (例えば99.5%以上) を得るためには、 $0.85 \mu\text{m}$  帯よりも  $1.1 \mu\text{m}$  帯  $\sim 1.7 \mu\text{m}$  帯の場合、このような材料層を約2倍程度にすることができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができ、動作電圧、発振閾値電流等が低くなり、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動の面で有利となる。

## 【0025】

つまり半導体分布ブラッグ反射鏡にこのような材料層を設けることは、本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合に特に効果的な工夫といえる。

## 【0026】

なお効果的な反射率を得るためのより詳細な検討結果の一例を挙げると、例え

ば  $1.3\ \mu\text{m}$  帯面発光型レーザ素子では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=1.0$ ) (低屈折率層～屈折率小の層) と  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0$ ) (高屈折率層～屈折率大の層) を 20 周期積層した場合においては、半導体分布ブラッグ反射鏡の反射率が 99.7% 以下となる  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) 層の厚さは  $30\ \text{nm}$  である。また、反射率が 99.5% 以上となる波長帯域は  $53\ \text{nm}$  であり、反射率を 99.5% 以上と設計した場合、 $\pm 2\%$  の膜厚制御ができればよい。そこでこれと同等およびこれより薄い、 $10\ \text{nm}$ 、 $20\ \text{nm}$ 、 $30\ \text{nm}$  のものを試作したところ、反射率を実用上問題のない程度に保つことができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができた  $1.3\ \mu\text{m}$  帯面発光型レーザ素子を実現、レーザ発振に成功した。なお試作したレーザ素子の他の構成は後述のとおりである。

## 【0027】

なお多層膜反射鏡においては設計波長 (膜厚制御が完全にできたとして) を含んで反射率の高い帯域がある。高反射率の帯域 (反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域を含む) と呼ぶ。設計波長の反射率が最も高く、波長が離れるにしたがってごくわずかずつ低下している領域である。これはある領域から急激に低下する。そして狙いの波長に対して必要な反射率以上となるように、本来、多層膜反射鏡の膜厚を原子層レベルで完全に制御する必要がある。しかし実際には  $\pm 1\%$  程度の膜厚誤差は生じるので狙いの波長と最も反射率の高い波長はずれてしまう。例えば狙いの波長が  $1.3\ \mu\text{m}$  の場合、膜厚制御が  $1\%$  ずれたとき、最も反射率の高い波長は  $13\ \text{nm}$  ずれてしまう。よってこの高反射率の帯域 (ここでは反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域) は広い方が望ましい。しかし中間層を厚くするとこの帯域が狭くなる傾向にある。

## 【0028】

このように本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1\ \mu\text{m} \sim 1.7\ \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザにおいて、このような半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を工夫、最適化することにより、反射率を高く維持したまま抵抗値を低減させることができるので、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動が可能となる。

## 【0029】

再び図1に戻り、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層 (p-コンタクト層) としての役割も持っている。

## 【0030】

ここで、量子井戸活性層の In 組成  $x$  は 39% ( $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}$ ) とした。また量子井戸活性層の厚さは 7 nm とした。なお量子井戸活性層は、GaAs 基板に対して約 2.8% の圧縮歪を有していた。

## 【0031】

またこの面発光型半導体レーザ全体の成長方法は MOCVD 法で行った。この場合、格子緩和は見られなかった。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG (トリメチルガリウム)、TMI (トリメチルインジウム)、 $\text{AsH}_3$  (アルシン)、 $\text{PH}_3$  (フォスフィン) を用いた。また、キャリアガスには  $\text{H}_2$  を用いた。図1に示した素子の活性層 (量子井戸活性層) のように歪が大きい場合は、非平衡となる低温成長が好ましい。ここでは、 $\text{GaInAs}$  層 (量子井戸活性層) は  $550^\circ\text{C}$  で成長させている。ここで使用した MOCVD 法は過飽和度が高く高歪活性層の結晶成長に適している。また MBE 法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

## 【0032】

またこの例では、電流経路外の部分をプロトン ( $\text{H}^+$ ) 照射によって絶縁層 (高抵抗部) を作って、電流狭さく部を形成した。

## 【0033】

そしてこの例では、上部反射鏡の最上部の層であり上部反射鏡一部となっている p-コンタクト層上に光出射部を除いて p 側電極を形成し、基板の裏面に n 側電極を形成した。

## 【0034】

この例では、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合する活性領域 (本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器

）において、活性領域内にはA1を含んだ材料（III族に占める割合が1%以上）を用いず、さらに、下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としている。キャリアは、活性層に最も近くワイドギャップである上部及び下部反射鏡の低屈折率層間に閉じ込められるので、活性領域のみをA1を含まない層（II族に占める割合が1%以下）で構成しても活性領域に接する反射鏡の低屈折率層（ワイドギャップ層）にA1を含んだ構造としたのでは、キャリアが注入され再結合する時、この界面で非発光再結合が生じ発光効率は低下してしまう。よって活性領域はA1を含まない層で構成することが望ましい。

## 【0035】

またこの  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層よりなる非発光再結合防止層は、その格子定数がGaAs基板よりも小さく、引張り歪を有している。

## 【0036】

エピタキシャル成長では下地の情報を反映して成長するので基板表面に欠陥があると成長層へ這い上がっていく。しかし歪層があるとそのような欠陥の這い上がりが抑えられ効果があることが知られている。

## 【0037】

上記欠陥が活性層に達すると発光効率を低減させてしまう。また、歪を有する活性層では臨界膜厚が低減し必要な厚さの層を成長できないなどの問題が生じる。特に活性層の圧縮歪量が例えば2%以上と大きい場合や、歪層の厚さ臨界膜厚より厚く成長する場合、低温成長などの非平衡成長を行っても欠陥の存在で成長できないなど、特に問題となる。歪層があるとそのような欠陥の這い上がりが抑えられるので、発光効率を改善したり、活性層の圧縮歪量が例えば2%以上の層を成長できたり、歪層の厚さを臨界膜厚より厚く成長することが可能となる。

## 【0038】

この  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層は活性領域に接しており活性領域にキャリアを閉じ込める役割も持っているが、 $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層は格子定数が小さくなるほどバンドギャ



ップエネルギーを大きく取り得る。例えば  $Ga_xIn_{1-x}P$  ( $y=1$  の場合) の場合、 $x$  が大きくなり  $GaP$  に近づくとき格子定数が大きくなり、バンドギャップは大きくなる。バンドギャップ  $E_g$  は、直接遷移で  $E_g(\Gamma) = 1.351 + 0.643x + 0.786x^2$ 、間接遷移で  $E_g(X) = 2.24 + 0.02x$  と与えられている。よって活性領域と  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ) 層のヘテロ障壁は大きくなるのでキャリア閉じ込めが良好となり、しきい値電流低減、温度特性改善などの効果がある。

## 【0039】

さらにこの  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ) 層よりなる非発光再結合防止層は、その格子定数が  $GaAs$  基板よりも大きく、圧縮歪を有しており、かつ前記活性層の格子定数が前記  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ) 層よりも大きく圧縮歪を有している。

## 【0040】

またこの  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ) 層の歪の方向が活性層と同じ方向なので、活性層が感じる実質的な圧縮歪量を低減する方向に働く。歪が大きいほど外的要因の影響を受けやすいので、活性層の圧縮歪量が例えば2%以上と大きい場合や、臨界膜厚を超えた場合に特に有効である。

## 【0041】

例えば発振波長が  $1.3 \mu m$  帯の面発光型レーザは  $GaAs$  基板上に形成するのが好ましく、共振器には半導体多層膜反射鏡を用いる場合が多く、トータル厚さが  $5 \sim 8 \mu m$  で  $50 \sim 80$  層の半導体層を活性層成長前に成長する必要がある。(一方、端面発光型レーザの場合、活性層成長前のトータル厚さは  $2 \mu m$  程度で3層程度の半導体層を成長するだけで良い。) この場合、高品質の  $GaAs$  基板を用いてもさまざまな原因(一度発生した欠陥は基本的には結晶成長方向に這い上がるし、ヘテロ界面での欠陥発生などがある)で  $GaAs$  基板表面の欠陥密度に比べて活性層成長直前の表面の欠陥密度はどうしても増えてしまう。活性層成長以前に、歪層の挿入や、活性層が感じる実質的な圧縮歪量が低減すると、活性層成長直前の表面にある欠陥の影響を低減できるようになる。

## 【0042】

この例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面に Al を含まない構成としたので、キャリア注入時に Al に起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合がなくなり、非発光再結合が低減した。

## 【0043】

前述のように、反射鏡と活性領域との界面に Al を含まない構成とする、すなわち非発光再結合防止層を設けることを、上下反射鏡ともに適用することが好ましいが、一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。また前述の例では、反射鏡低屈折率層の最も活性層に近い層のみを  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としているが、複数層の  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) を非発光再結合防止層としても良い。

## 【0044】

さらにこの例では、GaAs 基板と活性層との間の下部反射鏡にこの考えを適用し、活性層の成長時に問題となる、Al に起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。これらにより、発光効率は高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザーが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分を Al を含まない  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができている。

## 【0045】

このようにして製作した面発光型半導体レーザーの発振波長は約  $1.2 \mu m$  であった。GaAs 基板上の GaInAs は、In 組成の増加で長波長化するが歪み量の増加をとめない、従来  $1.1 \mu m$  までが長波長化の限界と考えられていた（文献「IEEE Photonics Technol. Lett. Vol. 9 (1997) pp. 1319-1321」参照）。

## 【0046】

しかしながら今回発明者が製作したように、 $600^\circ C$  以下の低温成長などの非

平衡度の高い成長法により高歪のGaInAs量子井戸活性層を従来より厚くコーヒレント成長することが可能となり、波長は $1.2\mu\text{m}$ まで到達できた。なおこの波長はSi半導体基板に対して透明である。従ってSi基板上に電子素子と光素子を集積した回路チップにおいてSi基板を通した光伝送が可能となる。

## 【0047】

以上の説明より明らかなようにIn組成が大きい高圧縮歪のGaInAsを活性層に用いることにより、GaAs基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できることがわかった。

なお前述のように、このような面発光型半導体レーザは、MOCVD法で成長させることができるが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また活性層の積層構造として、3重量子井戸構造(TQW)の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造(SQW、MQW)等を用いることもできる。

## 【0048】

レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。また共振器長は $\lambda$ の厚さとしたが $\lambda/2$ の整数倍とすることができる。望ましくは $\lambda$ の整数倍である。また半導体基板としてGaAsを用いた例を示したが、InPなどの他の半導体基板を用いた場合でも上記の考え方を適用できる。反射鏡の周期は他の周期でも良い。

なおこの例では活性層として、主たる元素がGa、In、Asよりなる層、すなわち $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ (GaInAs活性層)の例を示したが、より長波長のレーザ発振を行うためには、Nを添加し主たる元素がGa、In、N、Asからなる層(GaInNAs活性層)とすればよい。

## 【0049】

実際にGaInNAs活性層の組成を変えることにより、 $1.3\mu\text{m}$ 帯、 $1.55\mu\text{m}$ 帯のそれぞれにおいて、レーザ発振を行うことが可能であった。組成を検討することにより、さらに長波長の例えば $1.7\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザも可能となる。

## 【0050】

また、活性層にGaAsSbを用いてもGaAs基板上に $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光レーザを実現できる。このように波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の半導体レーザは

従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ、非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになった。

## 【0051】

次に本発明の光送受信システムに適用される発光素子である長波長帯面発光型半導体レーザの他の構成について、図3を用いて説明する。

## 【0052】

この場合も図1の場合と同様に面方位(100)のn-GaAs基板を使用している。それぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さ( $\lambda/4$ の厚さ)で $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.9$ )と $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ )を交互に35周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡( $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As/GaAs}$ 下部反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ )層を積層した。この例では $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ )層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層となっている。

## 【0053】

そしてその上に、アンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{As}_{1-y}$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(15nm)から構成される多重量子井戸活性層(この例では3重量子井戸(TQW))と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長の1波長分の厚さ( $\lambda$ の厚さ)の共振器を形成している。

## 【0054】

さらにその上に、p-半導体分布ブラッグ反射鏡(上部反射鏡)が形成されている。

## 【0055】

上部反射鏡は、被選択酸化層となるAlAs層を、GaInP層とAlGaAs層で挟んだ $3\lambda/4$ の厚さの低屈折率層(厚さが $(\lambda/4 - 15\text{nm})$ )のCドープ $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ )層、Cドープ $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $z=1$ )被選択酸化層(厚さ30nm)、厚さが $(2\lambda/4 - 1$

5 nm) の C ドープ  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  層 ( $x=0.9$ ) と、厚さが  $\lambda/4$  の  $\text{GaAs}$  層 (1 周期) と、C ドープの  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  層 ( $x=0.9$ ) と  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) 層をそれぞれの媒質内における発振波長の  $1/4$  倍の厚さで交互に積層した周期構造 (22 周期) とから構成されている半導体分布ブラッグ反射鏡 ( $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$  上部反射鏡) である。

なおこの例においても、図 3 では複雑になるので図示することは省略しているが、半導体分布ブラッグ反射鏡の構造は、図 2 に示したような低屈折率層 (屈折率小の層) と高屈折率層 (屈折率大の層) の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けたものである。

【0056】

そして、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層 ( $p$ -コンタクト層) としての役割も持たせている。

【0057】

ここで量子井戸活性層の  $\text{In}$  組成  $x$  は 37%、 $\text{N}$  (窒素) 組成は 0.5% とした。また量子井戸活性層の厚さは 7 nm とした。

【0058】

またこの面発光型半導体レーザの成長方法は MOCVD 法で行った。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG (トリメチルガリウム)、TMI (トリメチルインジウム)、 $\text{AsH}_3$  (アルシン)、 $\text{PH}_3$  (フォスフィン)、そして窒素の原料には  $\text{DMHy}$  (ジメチルヒドラジン) を用いた。 $\text{DMHy}$  は低温で分解するので  $600^\circ\text{C}$  以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合に好ましい。なおキャリアガスには  $\text{H}_2$  を用いた。

【0059】

またこの例では、 $\text{GaInNAs}$  層 (量子井戸活性層) は  $540^\circ\text{C}$  で成長した。 $\text{MOCVD}$  法は過飽和度が高く  $\text{N}$  と他の  $\text{V}$  族を同時に含んだ材料の結晶成長に適している。また  $\text{MBE}$  法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0060】

さらにこの例では、所定の大きさのメサ部分を  $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ ) 層に達するまで、 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $z=1$ ) 被選択酸化層の側面を露出させて形成し、側面の現れた  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $z=1$ ) 層を水蒸気で側面から酸化して  $\text{Al}_x\text{O}_y$  電流狭さく層を形成している。

## 【0061】

最後にポリイミド（絶縁膜）でメサエッチングで除去した部分を埋め込んで平坦化し、上部反射鏡上のポリイミドを除去し、 $p$ -コンタクト層上に光出射部を除いて  $p$  側電極を形成し、 $\text{GaAs}$  基板の裏面に  $n$  側電極を形成した。

## 【0062】

この例においては、被選択酸化層の下部に上部反射鏡の一部として  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1, 0 < y \leq 1$ ) 層が挿入している。例えばウェットエッチングの場合では、硫酸系エッチャントを用いれば、 $\text{AlGaAs}$  系に対して  $\text{GaInPAs}$  系はエッチング停止層として用いることができるため、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1, 0 < y \leq 1$ ) 層が挿入されていることで、選択酸化のためのメサエッチングの高さを厳密に制御できる。このため、均一性、再現性を高められ、低コスト化が図れる。

## 【0063】

またこの例の面発光型半導体レーザ（素子）を一次元または二次元に集積した場合、素子製作時における制御性が良好になることにより、アレイ内の各素子の素子特性の均一性、再現性も極めて良好になるという効果がある。

なおこの例では、エッチングストップ層を兼ねる  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1, 0 < y \leq 1$ ) 層を上部反射鏡側に設けたが、下部反射鏡側に設けても良い。

## 【0064】

またこの例においても、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合する活性領域（本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器）において、活性領域内には  $\text{Al}$  を含んだ材料を用いず、さらに下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1, 0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としている。つまりこの例では

、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面に、Al を含まない構成としているので、キャリア注入時に、Al に起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合を低減させることができる。

## 【0065】

なお反射鏡と活性領域との界面に Al を含まない構成を、この例のように上下反射鏡に適用することが好ましいが、いずれか一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。

## 【0066】

さらにこの例でも、GaAs 基板と活性層との間の下部反射鏡に図1の例の場合と同様の考えを適用したので、活性層の成長時に問題となる Al に起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。

なお、このような非発光再結合防止層は、図1、図3のいずれの構成においても半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を構成するので、その厚さは、媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さ（ $\lambda/4$ の厚さ）としている。あるいはそれを複数層も設けても良い。

## 【0067】

以上の説明より明らかなように、このような構成により、発光効率が高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分を Al を含まない  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層とただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができた。

## 【0068】

またこのような構成にしても、ポリイミドの埋め込みは容易であるので、配線（この例では p 側電極）が段切れしにくく、素子の信頼性は高いものが得られる。

このように製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約  $1.3 \mu\text{m}$  であった。

#### 【0069】

この例では、主たる元素が Ga、In、N、As からなる層を活性層に用いた (GaInNAs 活性層) ので、GaAs 基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できた。また Al と As を主成分とした被選択酸化層の選択酸化により電流狭さくを行ったので、しきい値電流は低かった。

#### 【0070】

被選択酸化層を選択酸化した Al 酸化膜からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造によると、電流狭さく層を活性層に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。更に酸化して Al 酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、しきい値電流は低減できる。また容易に電流狭さく構造を形成できることから、製造コストを低減できる。

#### 【0071】

以上の説明から明らかなように図 3 のような構成においても図 1 の場合と同様に、 $1.3 \mu\text{m}$  帯の面発光型半導体レーザを実現でき、しかも低消費電力で低コストの素子が得られる。

なお、図 3 の面発光型半導体レーザも図 1 の場合と同様に MOCVD 法で成長させることができるが、MBE 法等の他の成長方法を用いることもできる。また窒素の原料に、DMHy を用いたが、活性化した窒素や  $\text{NH}_3$  等他の窒素化合物を用いることもできる。

#### 【0072】

さらに活性層の積層構造として 3 重量子井戸構造 (TQW) の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造 (SQW、DQW、MQW) 等を用いることもできる。レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。

#### 【0073】

また図 3 の面発光型半導体レーザにおいて、GaInNAs 活性層の組成を変



えることで、 $1.55\mu\text{m}$ 帯、更にはもっと長波長の $1.7\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザも可能となる。 $\text{GaInNAs}$ 活性層に $\text{Tl}$ 、 $\text{Sb}$ 、 $\text{P}$ など他のIII-V族元素が含まれていてもかまわない。また活性層に $\text{GaAsSb}$ を用いても、 $\text{GaAs}$ 基板上に $1.3\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザを実現できる。

## 【0074】

なお活性層に $\text{GaInAs}$ を用いた場合、従来 $1.1\mu\text{m}$ までが長波長化の限界と考えられていたが、 $600^\circ\text{C}$ 以下の低温成長により高歪の $\text{GaInAs}$ 量子井戸活性層を従来よりも厚く成長することが可能となり、波長は $1.2\mu\text{m}$ まで到達できる。このように、波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪の $\text{GaInAs}$ 、 $\text{GaInNAs}$ 、 $\text{GaAsSb}$ を用い、かつ非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになり、光通信システムへの応用ができるようになった。

## 【0075】

図4はこのような長波長帯面発光半導体レーザ素子を、面方位(100)の $n\text{-GaAs}$ ウエハに多数のチップとして形成した例、ならびにレーザ素子チップを示したものである。ここで示したレーザ素子チップには、 $1\sim n$ 個のレーザ素子が形成されているが、その個数 $n$ はその用途に応じて、数ならびに配列方法が決められる。

## 【0076】

図5は長波長帯面発光半導体レーザを用いた通信システムに用いる光ファイバの一例で、レーザ素子発光部から出たレーザ光を受光し、それを送信するための光伝送路として作用するコアとクラッドからなる光ファイバーであり、コアの径を $D$ 、光ファイバーの長さを $L$ としたとき、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ としたようなファイバ長さを設定し、光ファイバのコアに沿って光を導くことを目的とした光ファイバの断面を示したものである。

従来からレーザ発振波長が $0.85\mu\text{m}$ 帯では光通信システムが検討されていたが、光ファイバの伝送ロスが大きくて実用的ではなかった。また伝送ロスが小

さい実用的な長波長帯においては安定したレーザ素子ができなかったが、本発明では前述のように半導体分布ブラッグ反射鏡の工夫、あるいは非発光再結合防止層を設けるような工夫により、レーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザを省エネルギー、低発熱、安定駆動ができるようになり、実用的な長波長帯光通信システムが可能となった。

## 【0077】

図6は上記のような長波長帯面発光型半導体レーザLDチップと光ファイバを長距離通信に応用したもので、長波長帯面発光型半導体レーザLDチップとそのレーザ素子発光部から出たレーザ光を受光し、それを送信するための伝送経路として作用する光ファイバコア直径Dが $50\mu\text{m}$ 、光ファイバの長さLが5Kmの第1の光ファイバと、この第1の光ファイバから出たレーザ光を受光しそれを送信するための伝送経路として作用する光ファイバコア直径Dが $50\mu\text{m}$ 、光ファイバの長さLが5Kmの第2の光ファイバと、この第2の光ファイバから出たレーザ光を受光するための光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップとからなっている。

## 【0078】

そして、半導体レーザLDチップと第1の光ファイバーとの間にはLD-第1の光ファイバとの接続モジュールがあり、両者を光カップリングさせている。また同様に第2の光ファイバとフォトダイオードチップ間にも、第2の光ファイバとフォトダイオードとの接続モジュールが間に入り光カップリングさせている。第1の光ファイバから出たレーザ光を受光しそれを送信するための伝送経路として作用する第2の光ファイバとの間には中継装置が設置され、ここで元の信号出力まで増幅され第2の光ファイバに送信されるので出力信号が低下することなく、長距離伝送を可能としている。ここで用いている第1、2の光ファイバは通常数千Kmを1巻取り単位として製造するが、この製造過程で発生する光ファイバ中への気泡発生等の品質欠陥により最終的には数百Km単位での巻取りとなる。さらには、伝播損失等により中継装置までの送信長さLは、一般的には例えばコア径が $50\mu\text{m}$ の場合、5mから50kmが実用的な長さとして、通信に用いる。

なお伝送距離が50kmより長い場合には伝送ロスのため、実質的に送信できなくなるので、中継点を設け、信号を増幅する必要がある。また5mより短い場

合には、必ずしもこのような光通信システムでなくても他に手段が存在する。

【0079】

ここで用いる光ファイバコアの直径Dは数 $\mu\text{m}$ の石英ガラス光ファイバから数百 $\mu\text{m}$ のプラスチック光ファイバを単独、もしくは複数本束ねて使用しても可能である。

【0080】

図7は光ファイバコアの直径Dが $50\mu\text{m}$ の石英ガラス光ファイバで、送信長さLが500mの光ファイバを2本束ね、受光端と光出射端でそれぞれ分離し、双方向の光通信を行っている。

【0081】

ここでは長波長帯面発光型半導体レーザLDチップと光ファイバーから出たレーザ光を受光するための光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップが対になり、

【0082】

レーザ素子発光部から出たレーザ光を受光し、それを送信するための伝送経路として作用する第1の光ファイバと、

【0083】

この第1の光ファイバーから出たレーザ光を受光するための光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップとからなり、

【0084】

長波長帯面発光型半導体レーザLDチップと第1の光ファイバとの間にはLDと第1の光ファイバーとの接続モジュールがあり、両者を光カップリングさせている。

【0085】

また同様に第1の光ファイバとフォトダイオードチップ間にも、第1の光ファイバとフォトダイオードとの接続モジュールが間に入り光カップリングさせている。

【0086】

この構成を反対にして設置し、双方向の光通信を可能としている。

## 【 0 0 8 7 】

尚、長波長帯面発光型半導体レーザLDチップ、フォトダイオードチップ、ファイバを一単位とした組み合わせ数はこれに限定されるものではなく、本発明のように面発光レーザは、1枚のレーザチップに複数個（ $n$ 個）の発光素子を形成できるので、 $n$ 個の発光素子、 $n$ 本のファイバーという組合せで、大容量通信システムが実現できる。

## 【 0 0 8 8 】

図8はコアの直径が $100\mu\text{m}$ のフッ素化プラスチック光ファイバで送信長さが100m未満の高速マルチメディアネットワークへの応用例を示した。ここでは局側装置から光ファイバコア直径 $D$ が $50\mu\text{m}$ 長さが50Kmの第1の光ファイバと第1の光ファイバから出たレーザ光を受光しそれを送信するための伝送経路として作用する光ファイバコア直径 $D$ が $50\mu\text{m}$ 、長さ1Kmの第2の光ファイバを50本融着結線し、ファイバ長さを50Kmとした、総全長100KmをGbpsオーダーの高速情報を長距離送信したものである。石英ガラス光ファイバの伝搬損失出により信号の減衰が発生するため、光信号を増幅する機能を持った中継装置で光信号を元の出力まで増幅し、第2の光ファイバに送信している。

## 【 0 0 8 9 】

第2の光ファイバからの光信号は、一度ネットワークターミネータに入り、光-電気信号に変換されて必要な端末数に電気回路上で分けられた後、図7で示したような光通信システムを用い、各ポートに光が出力される。各ポートへの光送信には光ファイバコア径が $100\mu\text{m}$ 、長さが10mの第3の光ファイバ、光ファイバコア径が $100\mu\text{m}$ 、長さが50mの第4の光ファイバ、光ファイバコア径が $100\mu\text{m}$ 、長さが100mの第5の光ファイバを用いている。第3、第4、第5の光ファイバから出たレーザ光は図示しない、受光するための光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップで受光し電気信号に変換する。他方、端末機器からの送信も同様に図示しないレーザ素子発光部から出たレーザ光を受光し、それを送信するための伝送経路として作用する第2の光ファイバーと、この第2の光ファイバーから出たレーザ光を光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップで受光する。

コア径が $100\mu\text{m}$ と大きい為、これにより高精度なレンズ系によるアライメント等が必要無く、きわめて簡単に事務所や家庭内の機器まで接続が可能となる。

#### 【0090】

この場合も、コアの径 $D$ と光ファイバーの長さ $L$ の関係は、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ とされる。つまり伝送距離が $100\text{km}$ より長い場合には伝送ロスのため、実質的に送信できなくなるので、中継点を設け、信号を増幅する必要がある。また $10\text{m}$ より短い場合には、必ずしもこのような光通信システムでなくても他に手段が存在する。

#### 【0091】

図9は長波長帯面発光半導体レーザを用いたハイブリッド光集積化デバイスへの応用例で、セラミック基板上に本発明の長波長帯面発光半導体レーザと、このレーザ素子発光部から出たレーザ光を受光し、それを送信するための伝送経路として作用する $7 \times 7\mu\text{m}$ コア寸法、対角長さ $D$ が約 $10\mu\text{m}$ の矩形コアで、光導波路の長さ $L$ が $1\text{cm}$ の第1の光導波路と、この第1の光導波路から出たレーザ光を受光しそれを送信するための伝送経路として作用する光ファイバコア直径 $D$ が $100\mu\text{m}$ 、光ファイバの長さ $L$ が $100\text{m}$ の第1の光ファイバと、セラミック基板上に設置した受信するための伝送経路として作用する $7 \times 7\mu\text{m}$ コア寸法、対角長さ $D$ が約 $10\mu\text{m}$ の矩形コアで、光導波路の長さ $L$ が $1\text{cm}$ の第2の光導波路と、第2の光導波路から出てきたレーザ光を受光するための光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップとプリアンプとからなっている。

#### 【0092】

また第1の光導波路と第1の光ファイバ間に第1の光導波路から出た光を第1の光ファイバに接続するための接続モジュールが間に入り光カップリングさせている。

#### 【0093】

第1の光ファイバの端部には光を受光するための光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップと第1の光ファイバから出た光をフォトダイオードに接続するための接続モジュールが入り光カップリングさせている。同様にレーザ素子発光部から出たレーザ光を受光し、第1の光ファイバに接続するための接続モジュ

ールが間に入り光カップリングさせている。

【 0 0 9 4 】

同様に第2の光ファイバと第2の光導波路との間に第2の光ファイバから出た光を第2の光導波路に接続するための接続モジュールが入り光カップリングさせている。

【 0 0 9 5 】

第2の光ファイバの端部には本発明の長波長帯面発光半導体レーザとそれを送信するための伝送経路として作用する第2の光ファイバに接続するための接続モジュールが入り光カップリングさせている。

【 0 0 9 6 】

光導波路はシリコンウエハ基板を用いフォトリソグラフィでコアとクラッドからなる石英光導波路を形成し、この石英光導波路を搭載したセラミック基板にプリアンプを設置した。

【 0 0 9 7 】

【発明の効果】

(請求項 1 に対応した効果)

コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバー通信が期待されているレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m}$  帯～ $1.7 \mu\text{m}$  帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光型半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

さらに、光ファイバのコア径に対し、光ファイバの長さを規定する事で、効率的な光ファイバの端末処理が容易となり、高信頼性で低コストな光通信が実現できた。

【 0 0 9 8 】

(請求項 2 に対応した効果)

コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバー通

信が期待されているレーザ発振波長が  $1.1\mu\text{m}$  帯～ $1.7\mu\text{m}$  帯の分野において、安定して使用できる長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように、非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップとすることにより安定した発振が可能となり、これを発光光源とした実用的な光通信システムが実現できた。

さらに、光ファイバのコア径に対し、光ファイバの長さを規定する事で、光ファイバの機械的強度の確保と安定した光通信が実現できた。

【 0 0 9 9 】

(請求項 3 に対応した効果)

このような光通信システムにおいて、伝送路は中継装置を介して信号レベルを増幅して次の光伝送路に再送出して送信することで高精度かつ安定した光通信を実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの素子部断面図である。

【図 2】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの半導体分布ブラッグ反射鏡の構成の部分断面図である。

【図 3】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの他の構成の素子部断面図である。

【図 4】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を形成したウエハ基板ならびにレーザ素子チップを示す平面図である。

【図 5】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザに接続する光ファイバの断面図である。

【図 6】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザおよび接続する光ファイバを用いた光通信システムを示す平面図である。

【図 7】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザおよび接続する光ファイバを用いた双方向の光通信システムを示す平面図である。

【図 8】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザおよび接続する光ファイバの機能を分離したビル内LANを示す平面図である。

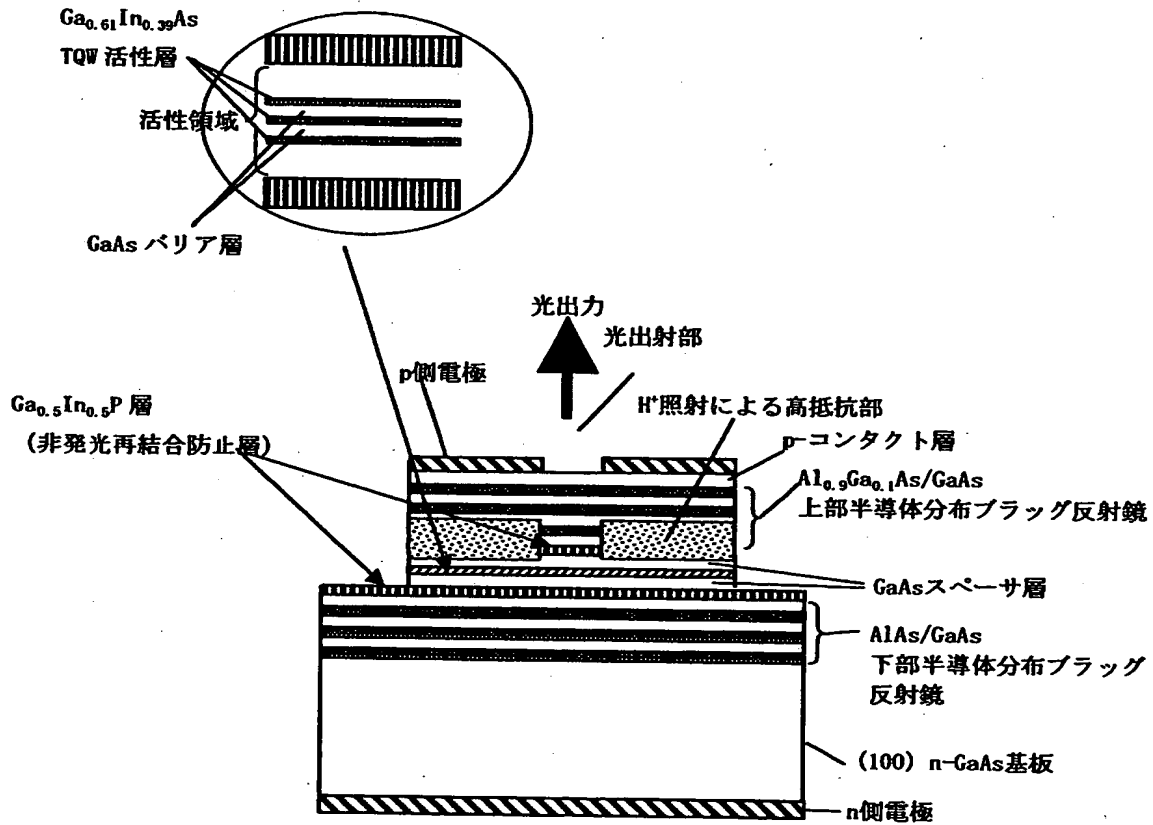
【図 9】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザおよび集積型光通信装置を示す平面図と光導波路の断面図である。



【書類名】 図面

【図 1】

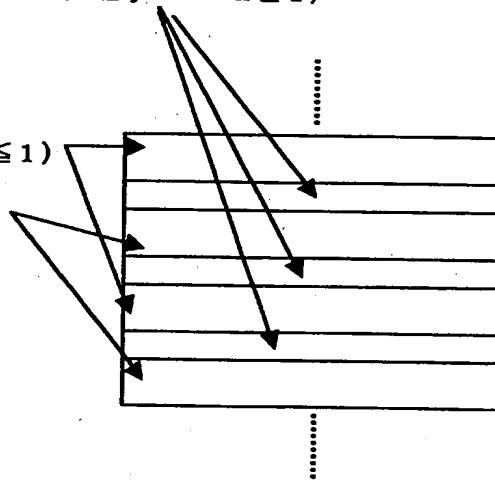


【図 2】

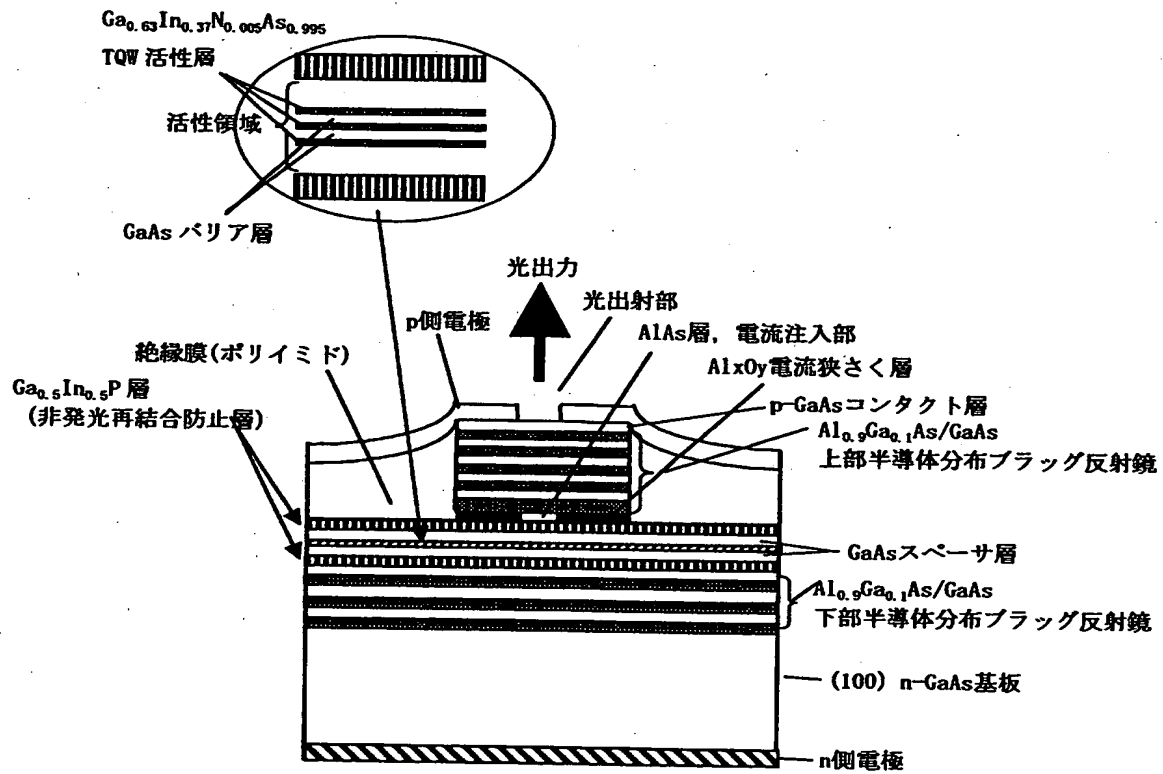
屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ )

屈折率が大の材料層  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ )

屈折率が小の材料層  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ )

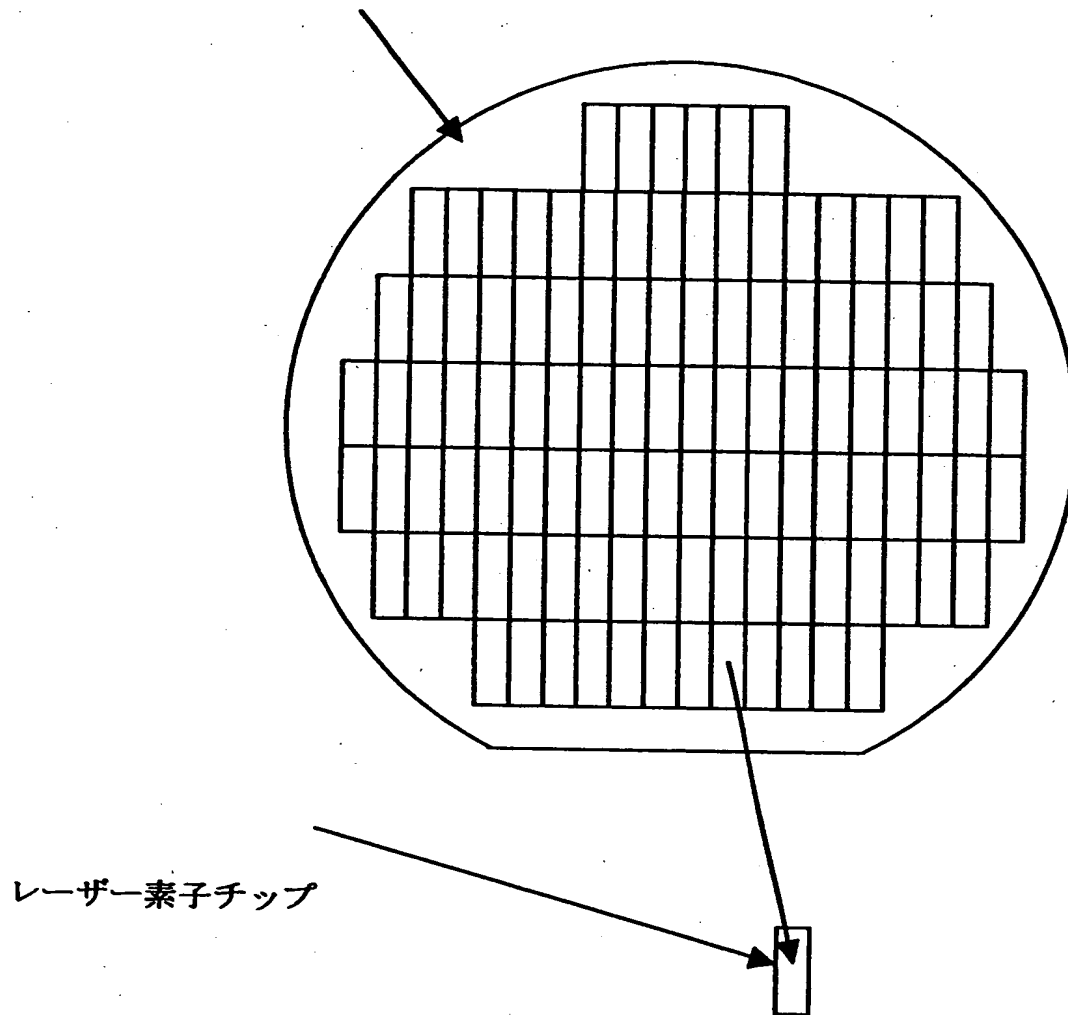


【図 3】

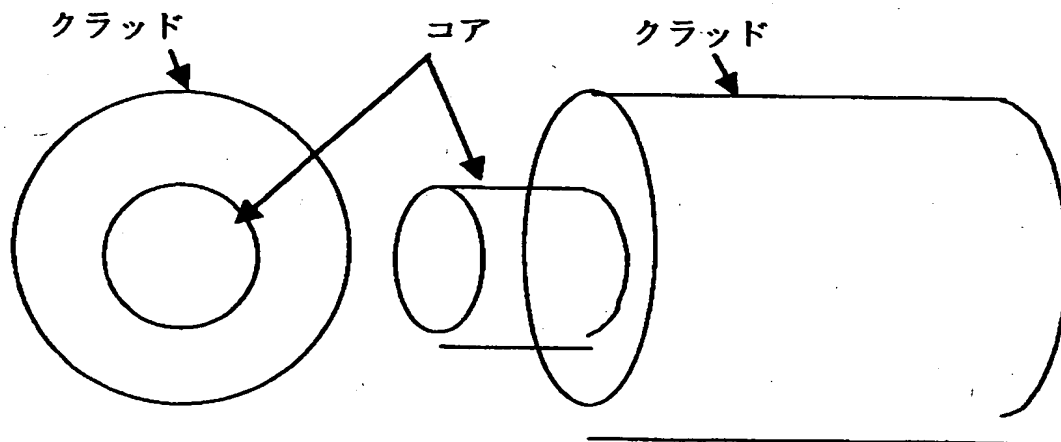


【図4】

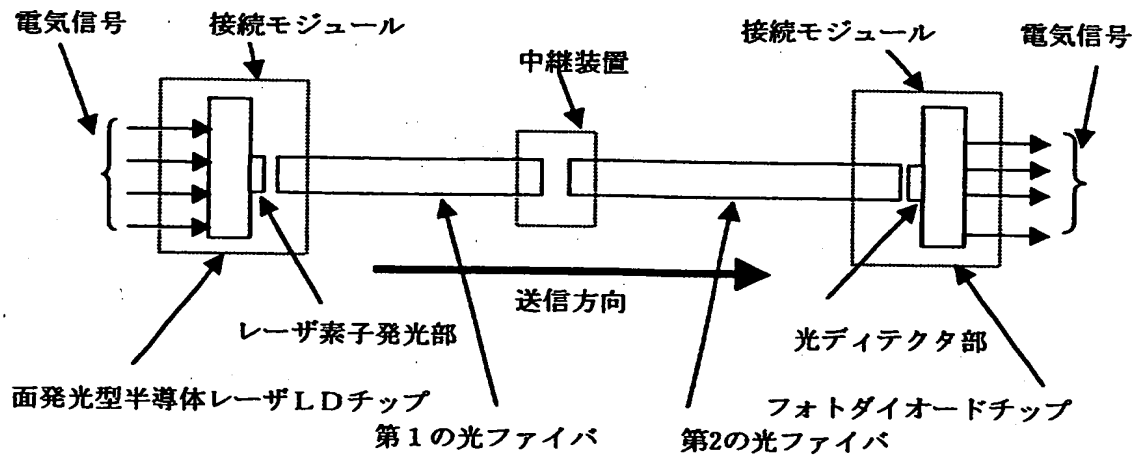
レーザー素子を形成した(100) n-GaAs ウエハ



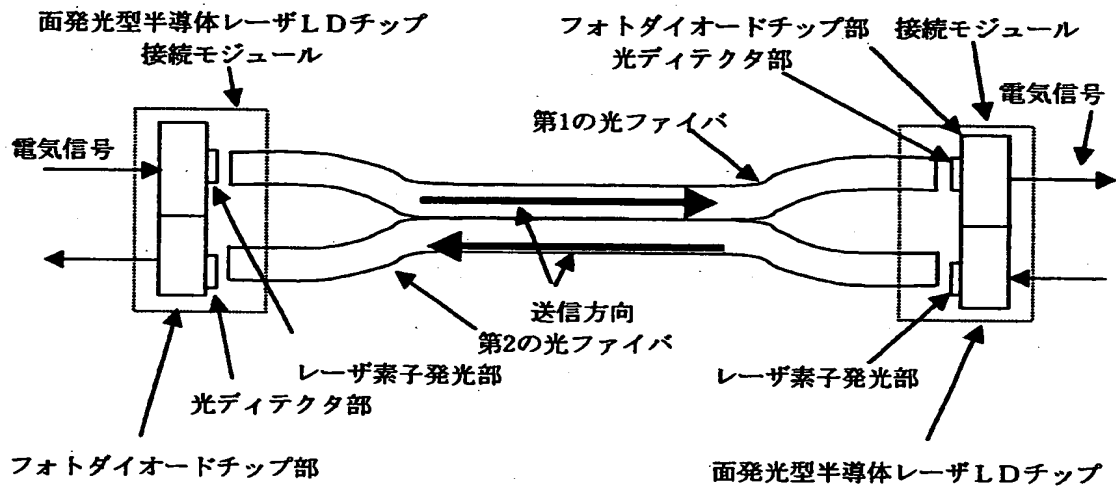
【図5】



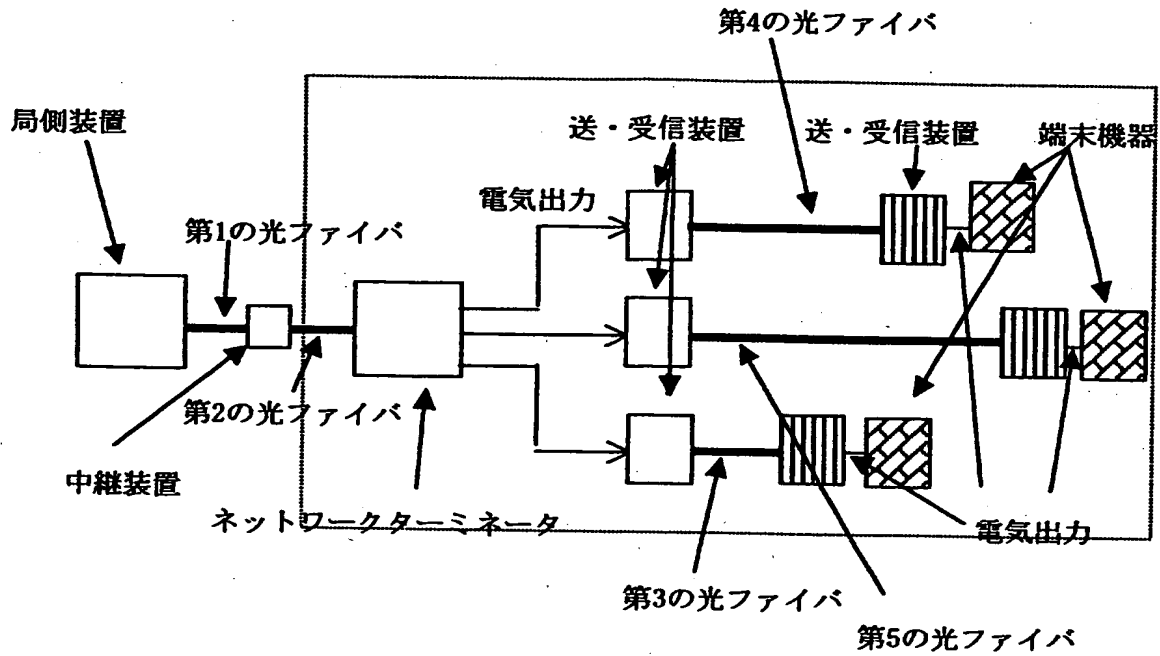
【図 6】



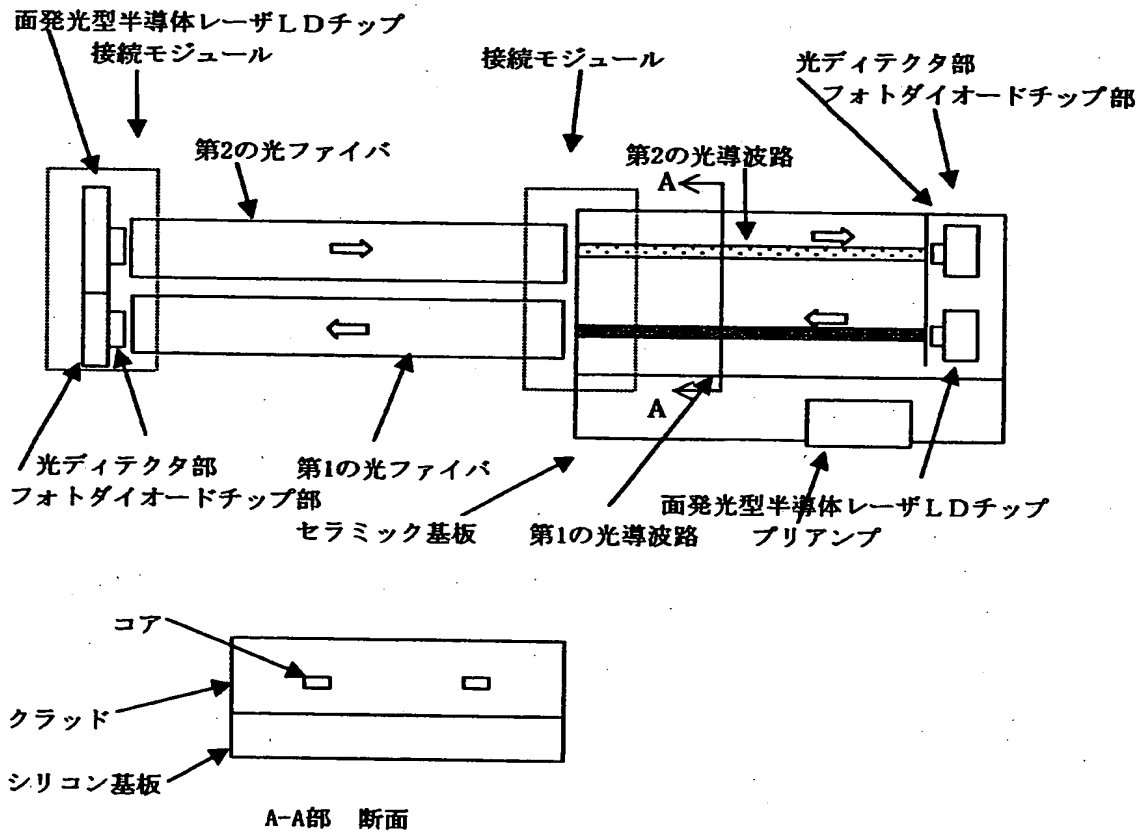
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光型半導体レーザチップを発光光源としてりようした低コストで大容量の光送信を可能とする光通信システムを提供する。

【解決手段】 面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源とし、通信システムに使用される光伝送路をコアとグリッドとを有する光ファイバーとし、コアの径をD、光ファイバーの長さをLとしたとき、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$  とする。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006747]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
氏 名 株式会社リコー